

УДК 621.833.3

Общий случай определения межосевого расстояния винта и ролика роликовинтового механизма и точки начального контакта их сопрягаемых витков. Разработка метода расчета и программы для ЭВМ

Бlinov D.C.^{1,*}, Zenkina Ya.P.¹

^{*}dmitriyblinov@mail.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Важнейшим параметром перспективных планетарных роликовинтовых механизмов (ПРВМ) является нагружочная способность. Ранее было предложено повысить этот параметр при тех же габаритах ПРВМ за счет уменьшение угла профиля витков резьбовых деталей механизма. Следствием этой модернизации ПРВМ являются изменения его размеров и характеристик, для чего требуются дополнительные исследования. Определение размеров и полей допусков на них является приоритетным исследованием, так как оно необходимо для разработки конструкторской документации, изготовления и испытаний модернизированных ПРВМ. В статье предложена методика определения размеров резьбовых деталей ПРВМ и полей допусков на них с учетом изменения угла профиля витков его деталей и радиуса дуги, по которой выполнен профиль витка ролика, что является общим случаем.

Ключевые слова: роликовинтовой механизм; винт; ролик; виток резьбы; угол профиля; диаметры резьбы; межосевое расстояние; точка начального контакта

Введение

В настоящее время роликовинтовые механизмы (РВМ) являются наиболее перспективными механическими преобразователями вращательного движения в поступательное. РВМ имеют различные конструкции и конструктивные исполнения [1], что является их достоинством, так как указанные конструкции и исполнения обладают различными эксплуатационными характеристиками. Поэтому для заданных условий применения можно подобрать рациональную конструкцию РВМ.

Одной из тенденций развития машиностроения является повышение нагружочной способности машин, механизмов, передач, деталей соединений и т.д. При этом желательно повысить нагружочную способность изделия без увеличения его массы и габаритов. На-

грузочная способность РВМ оценивается статической и динамической грузоподъемностями. Так как РВМ имеют различные конструкции, то, в первую очередь, целесообразно повышать нагрузочную способность той конструкции, которая обладает наибольшей статической и динамической грузоподъемностями.

В работе [2] выполнен обзор конструкций РВМ и установлено, что наибольшей статической и динамической грузоподъемностями обладают планетарные роликовинтовые механизмы (ПРВМ) с цельной гайкой (осевым люфтом) и ПРВМ с длинной гайкой. Так как ПРВМ с цельной гайкой, см. рис. 1, наиболее чаще применяется и более технологична в изготовлении, то именно эта конструкция выбрана для повышения нагрузочной способности без увеличения габаритов и массы.

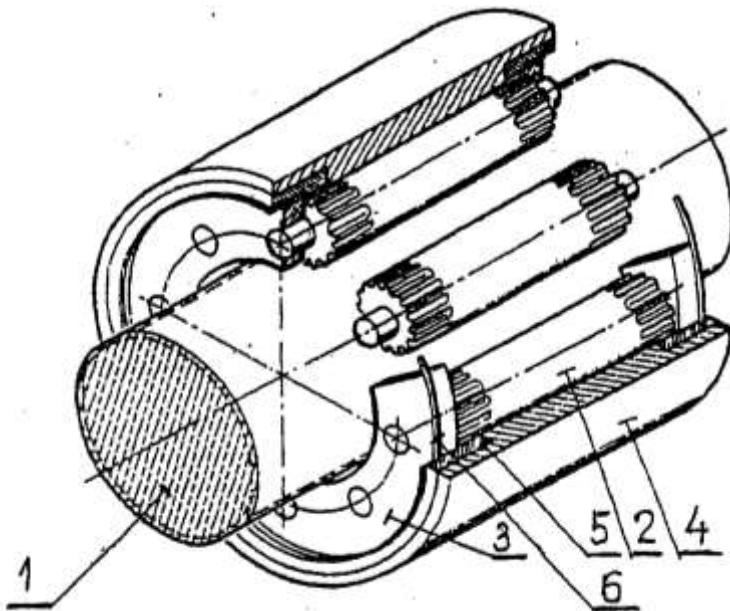


Рис.1. ПРВМ с цельной гайкой

ПРВМ с цельной гайкой (рис. 1) состоит из винта 1 и гайки 4, имеющих правую многозаходную резьбу, резьбовых роликов 2 с правой резьбой, шейки которых установлены с зазором в отверстия сепараторов 3, расположенных с двух торцов гайки. На концах каждого ролика прямо по резьбе выполняют наружные зубчатые венцы, которые зацепляются с внутренними зубчатыми венцами втулок 5, закрепленных в гайке. Осевое перемещение сепараторов ограничивается с помощью разрезных, пружинных колец 6.

Обзор литературы

Для удобства разработки расчетной модели ПРВМ и получения в сопряжениях витков ролика с витками гайки и винта начального точечного контакта [3] предложено профиль витков резьбы ролика очерчивать по дуге окружности, центр которой расположен на оси ролика, см. рис. 2,б. Профили витков винта и гайки треугольные, см. рис. 2. При этом угол профилей витков резьбы всех деталей $\alpha = 90^\circ$.

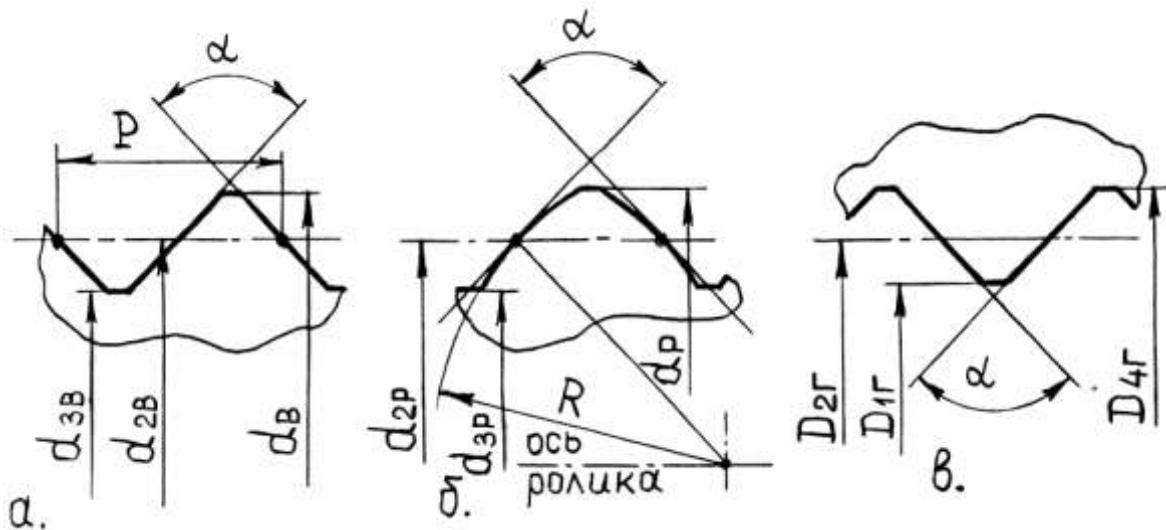


Рис. 2. Профили витков деталей ПРВМ: *а* – винта; *б* – ролика; *в* – гайки

Для повышения нагрузочной способности ПРВМ в работах [2 и 4] предложено изготавливать резьбовые детали ПРВМ с углом профиля витков $\alpha = 70^\circ$. Это изменение угла α позволяет повысить нагрузочную способность ПРВМ по статической грузоподъемности примерно на 15% [4]. Статическая грузоподъемность ПРВМ находится в тесной корреляционной связи с динамической грузоподъемностью [5]. Следовательно, повысится и динамическая грузоподъемность.

Изменение угла профиля витков резьбы деталей ПРВМ приведет не только к повышению нагрузочной способности, но и к изменению целого ряда геометрических, эксплуатационных и других параметров.

ПРВМ является наукоёмким изделием со многими особенностями [3]. В ПРВМ винт имеет правую многозаходную резьбу, а ролик, являющийся также винтом, имеет правую резьбу, как правило, с одним заходом. Отсюда в месте взаимодействия винта 1 и ролика 2 их сопрягаемые витки имеют углы подъема резьбы, которые отличаются не только по величине, но и по направлению, см. рис. 3. Это является конструктивной особенностью ПРВМ [3]. Углы подъема резьбы винта и ролика соответственно равны

$$\psi_B = \arctg(P \cdot z_B / (\pi \cdot d_{2B})); \quad (1)$$

$$\psi_P = \arctg(P \cdot z_P / (\pi \cdot d_{2P})), \quad (2)$$

где: P – шаг резьбы винта и ролика (рис. 2);

z_B и z_P – количество заходов резьбы соответственно винта и ролика;

d_{2B} и d_{2P} – средние диаметры резьбы соответственно винта и ролика (рис. 2).

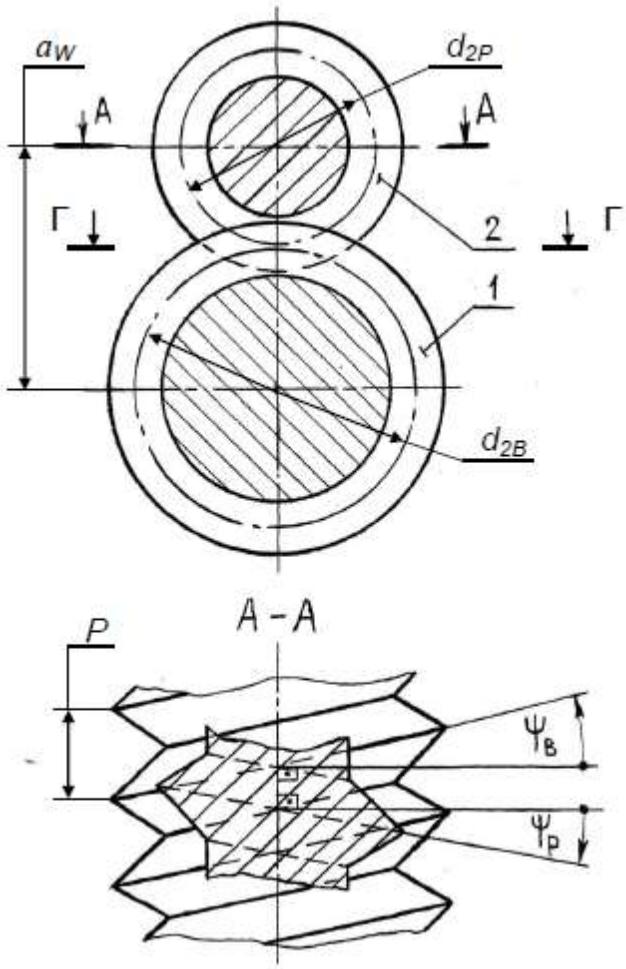


Рис. 3. Винт 1 и ролик 2 с одним витком в 2-х проекциях

Если бы $\psi_B = \psi_P$, то расстояние между осями винта и ролика равнялось бы номинальному значению

$$a_{w,HOM} = (d_{2B} + d_{2P})/2 \quad (3)$$

На самом деле $\psi_B \neq \psi_P$, а это значит, что при номинальном значении межосевого расстояния $a_{w,HOM}$ виток ролика не может разместиться во впадине, образованной соседними витками винта. Необходимо увеличить межосевое расстояние. Пусть межосевое расстояние, при котором виток ролика размещается во впадине, образованной соседними витками винта, и взаимодействует с витками винта в точке начального контакта (ТНК), определяется по формуле

$$a_w = a_{w,HOM} + \Delta a_w = (d_{2B} + d_{2P})/2 + \Delta a_w, \quad (4)$$

где Δa_w – приращения межосевого расстояния, которое надо определить.

В работе [6] описан численный метод, позволяющий определить приращение Δa_w и координаты ТНК сопрягаемых витков резьбы винта и ролика. Используя этот метод, по разработанной программе получены графики [7], позволяющие определить приращение Δa_w по величинам среднего диаметра резьбы пятизаходного винта и шага резьбы. Имеют-

ся и другие работы, в которых решается данная проблема. Например, в работе [8] предложен достаточно сложный аналитический метод с численной реализацией. Полученные во всех работах результаты соответствуют углу профиля витков резьбы деталей ПРВМ $\alpha = 90^\circ$. При изменении угла α нужны новые исследования.

Недавно разработаны и запатентованы безгаечные РВМ [9]. Для одного из исполнений этих механизмов ролики имеют треугольные витки, а винт – фасонные, очерченные дугой окружности, центр которой может находиться в любой точке на нормали к профилю витка [10]. В этом случае радиус окружности может быть произвольным, не зависящим от среднего диаметра винта. Для этого случая также нужны новые исследования по определению приращения Δa_w и координат ТНК сопрягаемых витков резьбы винта и ролика.

Постановка задачи

Ставится задача по разработке численного метода в общем случае по определению приращения межосевого расстояния Δa_w и координат ТНК сопрягаемых витков резьбы двух винтов с параллельными осями в зависимости от:

- среднего диаметра d_{2B} резьбы первого винта с витками треугольного профиля;
- шага резьбы винтов;
- количества заходов резьбы винтов z_B и z_P ;
- угла профиля витков резьбы винтов;
- радиуса, по которому очерчен профиль витка резьбы второго винта.

В качестве первого винта может быть винт ПРВМ или ролик безгаечного РВМ, а в качестве второго винта соответственно ролик ПРВМ или винт безгаечного РВМ. При этом подразумевается, что по исходным данным (d_{2B} , z_B и z_P) можно определить средний диаметр d_{2P} резьбы второго винта.

Кроме того, необходимо разработать программу расчета на ЭВМ, описывающую численный метод, и оттестировать ее на известных решениях.

Ранее было указано, что изменение угла профиля витков деталей РВМ может привести к изменению различных параметров механизма, в том числе к изменению размеров витков (внутреннего и наружного диаметров) резьбы винта и ролика [2]. Работа [2] посвящена определению размеров и полей допусков на них для резьбовых деталей планетарных роликовинтовых механизмов, но ряд размеров окончательно не был определен, так как эти размеры зависят от величины приращения Δa_w . Для определения приращения Δa_w и координат ТНК сопрягаемых витков резьбы винта и ролика нужны границы зоны, в которой расположена ТНК. Этими границами являются наружные диаметры резьбы винта и ролика, которые окончательно не определены. Таким образом, данное исследование и исследование, изложенное в работе [2], должны проводиться совместно.

Исходные данные и допущения

На практике обычно профиль витков резьбы одного винта треугольный, а другого винта – очерчен дугой окружности, что и указано в постановке задачи. При этом пространственная поверхность резьбы получается как перемещение образующей (отрезка прямой или дуги окружности) по направляющей (винтовой линии). Метод расчета и программа для ЭВМ позволяют в качестве образующей каждого винта использовать отрезок прямой, дугу окружности, выпуклую линию, уравнение которой необходимо задать, а также их любые сочетания для двух винтов. Это может быть полезным для анализа полученных результатов и предложений по изменению конструкции винтов.

Основное допущение – винты изготовлены абсолютно точно. Оба винта имеют правую резьбу, оси винтов параллельны.

Пусть разрез $\Gamma - \Gamma$ (см. рис. 3) проходит по плоскости, в которой расположены точки начального контакта сопрягаемых винтов, см. рис. 4.

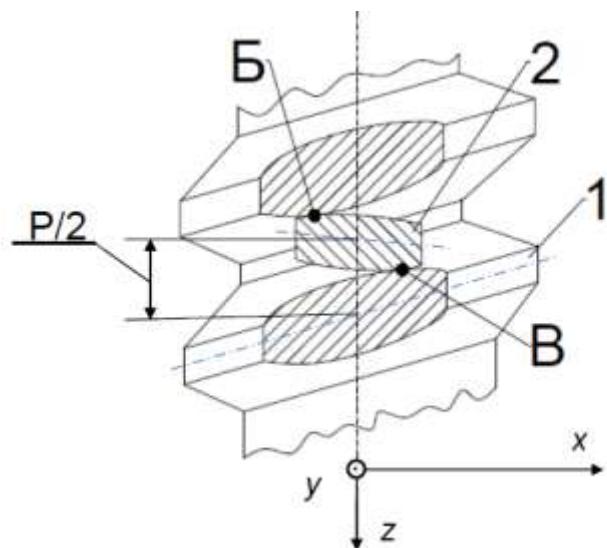


Рис. 4. Разрез $\Gamma - \Gamma$ по винту 1 и ролику 2 на рис. 3

Известно [6], что ТНК «В» с одной стороны витка резьбы ролика и ТНК «Б» с другой его стороны расположены кососимметрично: координаты у этих ТНК будут одинаковыми, а координаты x будут отличаться только знаком. В связи с этим определять будем только одну ТНК – точку «В».

Исходные данные: шаг резьбы P ; средние диаметры резьбы винтов d_{2B} и d_{2P} ; наружные диаметры резьбы винтов d_B и d_P ; количество заходов резьбы винтов z_B и z_P (у одного винта параметры имеют индекс «В», у другого – «Р»). При этом значения d_B и d_P берем первоначально из рекомендаций для винтов с углом профиля резьбы $\alpha = 90^\circ$ [7]. Кроме того задаются уравнения образующих винтовой поверхности двух винтов.

В статье рассматривается один винт (винт ПРВМ) с образующей в виде отрезка прямой, а второй винт (ролик ПРВМ) с образующей очерченной дугой окружности произвольного радиуса R .

Исходное положение сопрягаемых витков двух винтов в осевой плоскости

Примем винт (винт ПРВМ) с образующей в виде отрезка прямой за базовый, который связан с неподвижной системой координат $x - y - z$, см. рис. 5. В исходном положении будем считать приращение $\Delta a_w = 0$. Отсюда межосевое расстояние $a_w = a_{w, \text{ном}}$, и второй винт (ролик ПРВМ) в осевой плоскости будет взаимодействовать с первым в точке « O_B » их совпадающих окружностей со средним диаметром резьбы, см. рис. 5. Между средними плоскостями вершин витков резьбы винтов расстояние $P/2$.

Центр окружности (точка « O »), дугой которой является образующая винтовой поверхности второго винта, расположен на нормали $n - n$ к образующим сопрягаемых витков в точке их взаимодействия. Определим координаты точки « O », которая находится на постоянном расстоянии y_P от оси ролика (y_P задается):

- осевая координата $z_O = R \cdot \cos(\alpha/2) = \text{const}$;
- радиальная координата $y_O = a_w - (d_{2B}/2) - y_P$, которая зависит от Δa_w , см. уравнение (4).

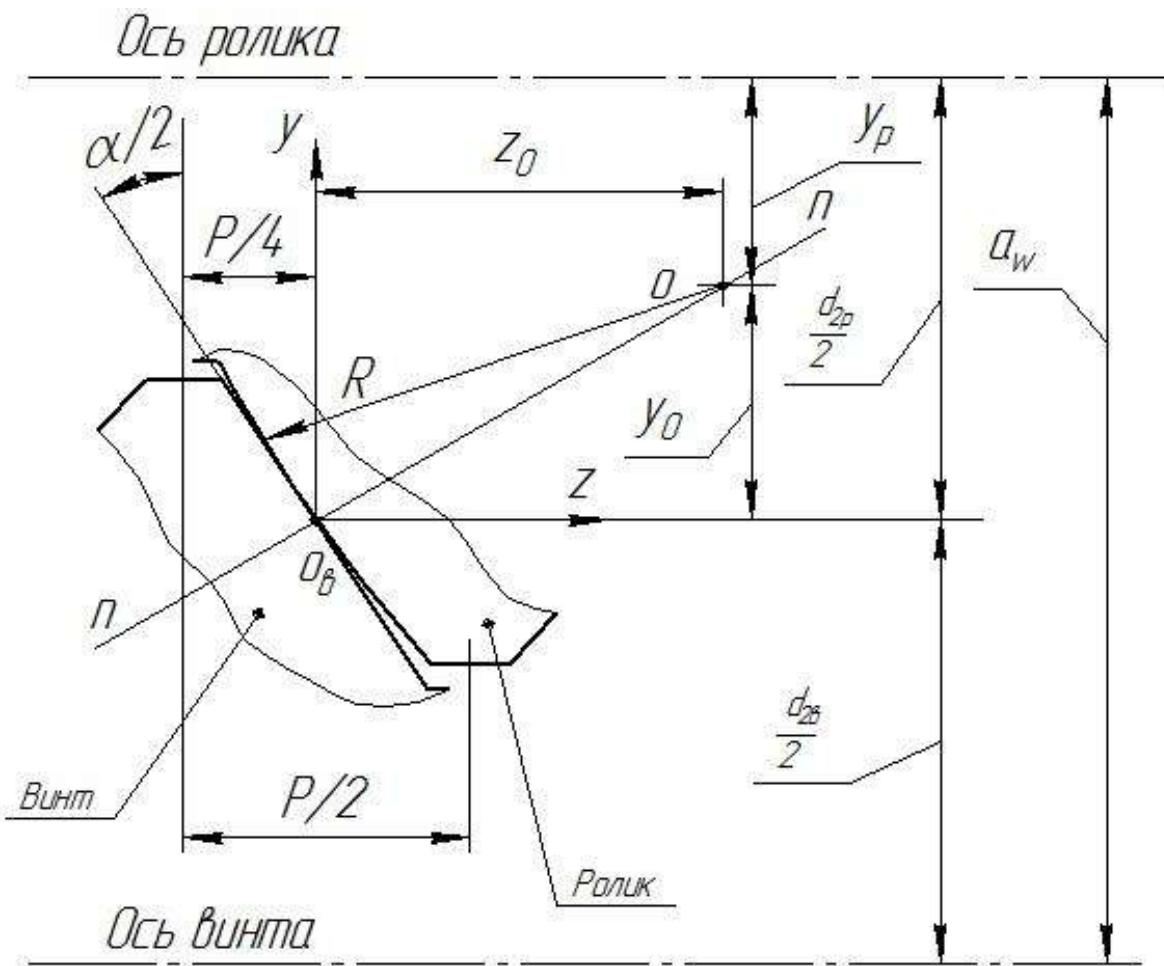


Рис. 5. Сопрягаемые витки двух винтов в исходном положении

Определение зоны S_Σ , в которой расположена ТНК сопрягаемых витков

Если в исходном положении (см. рис. 5) спроектировать на плоскость перпендикулярную осям винтов сопрягаемые витки этих деталей, то границы витков образуют зону S_Σ , в которой может находиться ТНК, см. рис. 6.

Из полученного ранее опыта [6] следует, что ТНК на одной стороне витка винта ПРВМ расположена в правой половине зоны S_Σ , а ТНК на другой стороне витка винта ПРВМ – в левой половине зоны S_Σ , см. точки «Б» и «В» на рис. 4. Для выбранного исходного положения витков винта и ролика ПРВМ нас интересует точка «В». Эта точка расположена в правой половине зоны S_Σ . Поэтому сузим зону поиска ТНК, и будем рассматривать только правую половину зоны S_Σ .

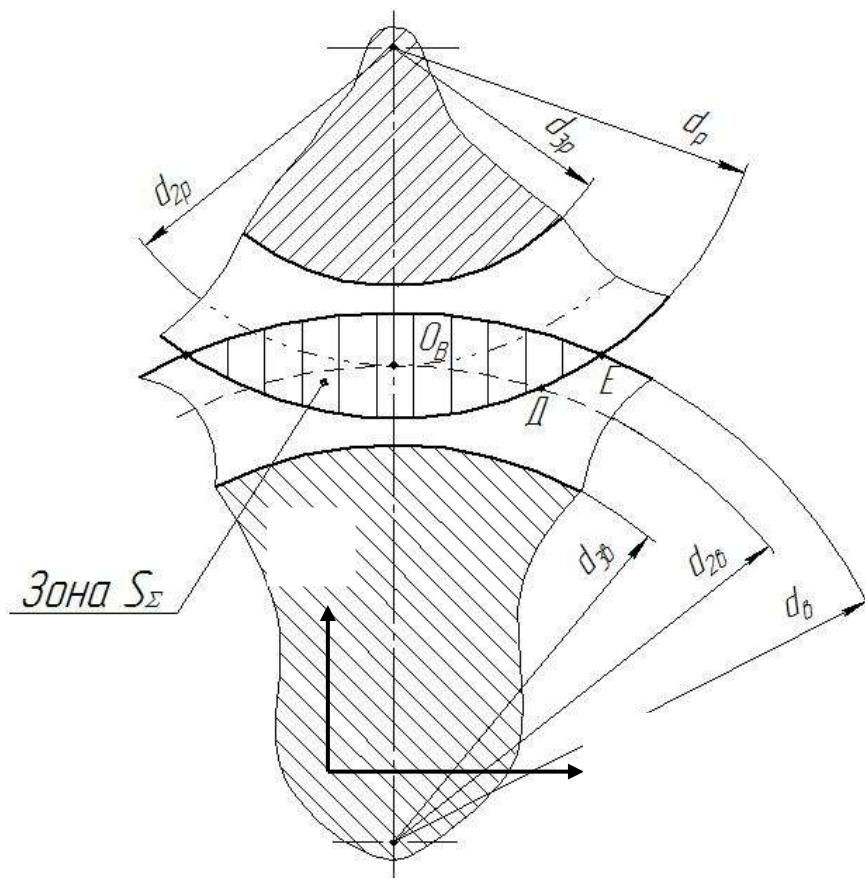


Рис. 6. Зона S_{Σ} поиска ТНК

Из полученного ранее опыта [6] следует, что диаметр, на котором расположена ТНК больше среднего диаметра d_{2B} резьбы винта ПРВМ. Поэтому дополнительно сузим зону поиска ТНК и окончательно получим зону S , в которой реально может находиться эта точка, см. рис. 7.

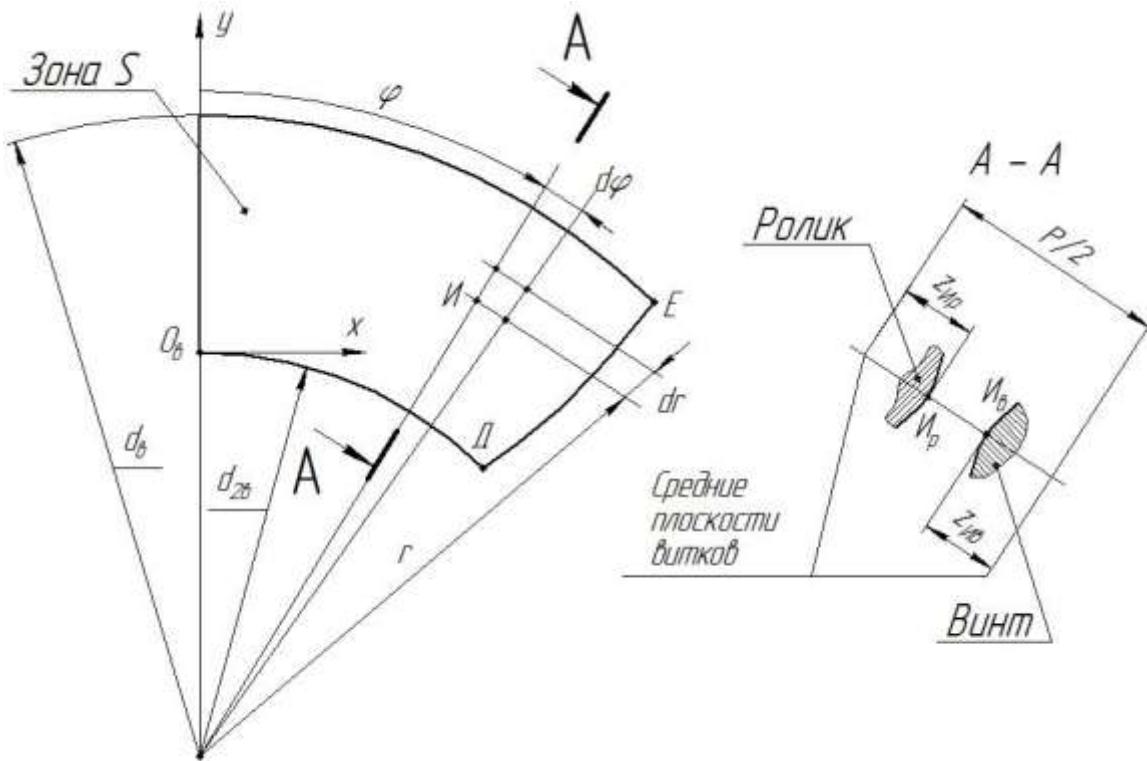


Рис. 7. Зона S поиска ТНК

Для поиска ТНК удобно использовать полярные координаты $\varphi - r$ (они соответствуют прямоугольной системе координат $X_1 - Y_1$, см. рис. 6), а анализ полученных результатов удобно производить в плоской прямоугольной системе координат $x - y$, центр которой целесообразно расположить в точке « O_B ». Эта точка является номинальной ТНК витков двух винтов, поэтому координаты $x - y$ реальной ТНК будут определять соответствующие смещения реальной ТНК от номинальной.

Сущность разработанного итерационного метода

Для первой итерации принимаем $\Delta a_w = 0$ (исходное положение сопрягаемых витков показано на рис. 5), то есть межосевое расстояние равно номинальному значению, см. формулу (4). В зоне S (см. рис. 7) строится сетка, дискретность которой соответствует параметрам Δr и $\Delta \varphi$. Величины этих параметров влияют на точность определения координат ТНК и искомого приращения Δa_w . В точках (узлах сетки) определяются расстояния между сопрягаемыми витками винта и ролика. Рассмотрим произвольную точку «И» в зоне S , см. рис. 7. Этой точке будет соответствовать точка «Ир» на резьбовой поверхности ролика и точка «Ив» на резьбовой поверхности винта, см. разрез А – А на рис. 7. Далее рассчитываются расстояния z_{HP} и z_{HB} указанных точек от средних плоскостей витков. Если $z_{HP} + z_{HB} < P/2$, то между расчетными точками зазор. Если $z_{HP} + z_{HB} = P/2$, то точ-

ки «Ир» и «Ив» вступили в начальный контакт (равенство указанных действительных величин маловероятно). Если $z_{HP} + z_{IB} > P/2$, то виток ролика не размещается во впадине между сопрягаемыми витками винта. Значит надо увеличивать приращение Δa_w – продолжать итерации. Известно [6], что для первой итерации (для $\Delta a_w = 0$) виток ролика не размещается во впадине между соседними витками винта, то есть расчет будет продолжен.

Для второй итерации увеличиваем значение Δa_w на величину шага S_a , которая влияет на точность определения межосевого расстояния и координат ТНК, а также – на время счета. Увеличение Δa_w означает отдаление оси ролика от оси винта (см. рис. 5) при том же расстоянии между средними плоскостями витков винта и ролика. Указанное расстояние между средними плоскостями витков винта и ролика равное $P/2$ остается неизменным в течение всего расчета. Если для второй итерации для произвольной точки «И» $z_{HP} + z_{IB} > P/2$, то расчет будет продолжен.

Для последующих итераций увеличиваем текущее значение Δa_w и текущее значение межосевого расстояния на величину шага S_a до тех пор, пока не будет найдена ТНК двух винтов и соответствующее этому искомое значение Δa_w . Признаком завершения расчета будет следующая ситуация. Для предыдущей итерации рассчитывались расстояния между витками винта и ролика в узлах сетки. Для уже рассчитанных узлов получались зазоры между сопрягаемыми витками, а для текущего узла получилось условие $z_{HP} + z_{IB} > P/2$. Это значит, что виток ролика не размещается во впадине между сопрягаемыми витками винта. Предыдущую итерацию на этом прервали и перешли к следующей, последней итерации. Для неё между всеми узлами в зоне S получились зазоры, а это значит, что виток ролика размещается во впадине между сопрягаемыми витками винта. Координаты узла с минимальным зазором определяют положение ТНК, а текущее значение Δa_w будет искомым. Можно дополнительным расчетом с более мелкими шагами варьируемых параметров уточнить полученные результаты.

Математический аппарат метода

При поиске ТНК в зоне S , см. рис. 7, целесообразно условно разделить её на два участка. Границей участков является угловая координата φ_D точки «Д».

Определим границы участков зоны S :

– для левого участка

$$0 \leq \varphi \leq \varphi_D \text{ и } (d_{2B}/2) \leq r \leq (d_B/2); \quad (5)$$

– для правого участка

$$\varphi_{\Delta} < \varphi \leq \varphi_E \text{ и } r_i(\varphi) \leq r \leq (d_B / 2). \quad (6)$$

Угловую координату точки «Д» определим как точку пересечения следующих окружностей в системе координат $X_1 - Y_1$ (см. рис. 6):

$$X_1^2 + Y_1^2 = (d_{2B} / 2)^2; \quad X_1^2 + (Y_1 - a_W)^2 = (d_P / 2)^2$$

Опуская промежуточные выкладки, получим

$$\varphi_{\Delta} = \operatorname{arctg}(X_{1\Delta} / Y_{1\Delta}) \quad (7)$$

где:

$$X_{1\Delta} = \sqrt{(d_{2B} / 2)^2 - Y_{1\Delta}^2}; \quad Y_{1\Delta} = \frac{a_W}{2} + \frac{d_{2B}^2}{8 \cdot a_W} - \frac{d_P^2}{8 \cdot a_W}.$$

Аналогично определим угловую координату точки «Е»

$$\varphi_E = \operatorname{arctg}(X_{1E} / Y_{1E}) \quad (8)$$

где:

$$X_{1E} = \sqrt{(d_B / 2)^2 - Y_{1E}^2}; \quad Y_{1E} = \frac{a_W}{2} + \frac{d_B^2}{8 \cdot a_W} - \frac{d_P^2}{8 \cdot a_W}.$$

Радиус точки с произвольной угловой координатой φ на дуге окружности диаметра d_P между точками «Д» и «Е», см. рис. 6, равен

$$r_i(\varphi) = a_W \cdot \cos \varphi - \sqrt{a_W^2 \cdot \cos^2 \varphi - (a_W^2 - 0,5 \cdot d_P^2)} \quad (9)$$

Определим координаты произвольной точки «И» зоны S в полярных координатах с центром на оси ролика (см. рис. 8).

Этот расчет необходим для определения осевой координаты точки «И» на резьбовой поверхности ролика. Исходными данными являются радиус r и угловая координата φ точки «И» в полярных координатах с центром на оси винта (см. рис. 7).

Пусть: r_P – радиус точки «И» в полярных координатах с центром на оси ролика, см. рис. 8;

ψ – угловая координата точки «И» в полярных координатах с центром на оси ролика, см. рис. 8.

Из геометрии после преобразований получим следующие зависимости:

$$r_P = \sqrt{(r \cdot \sin \varphi)^2 + (a_W - r \cdot \cos \varphi)^2}; \quad (10)$$

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{r \cdot \sin \varphi}{a_W - r \cdot \cos \varphi}\right) \quad (11)$$

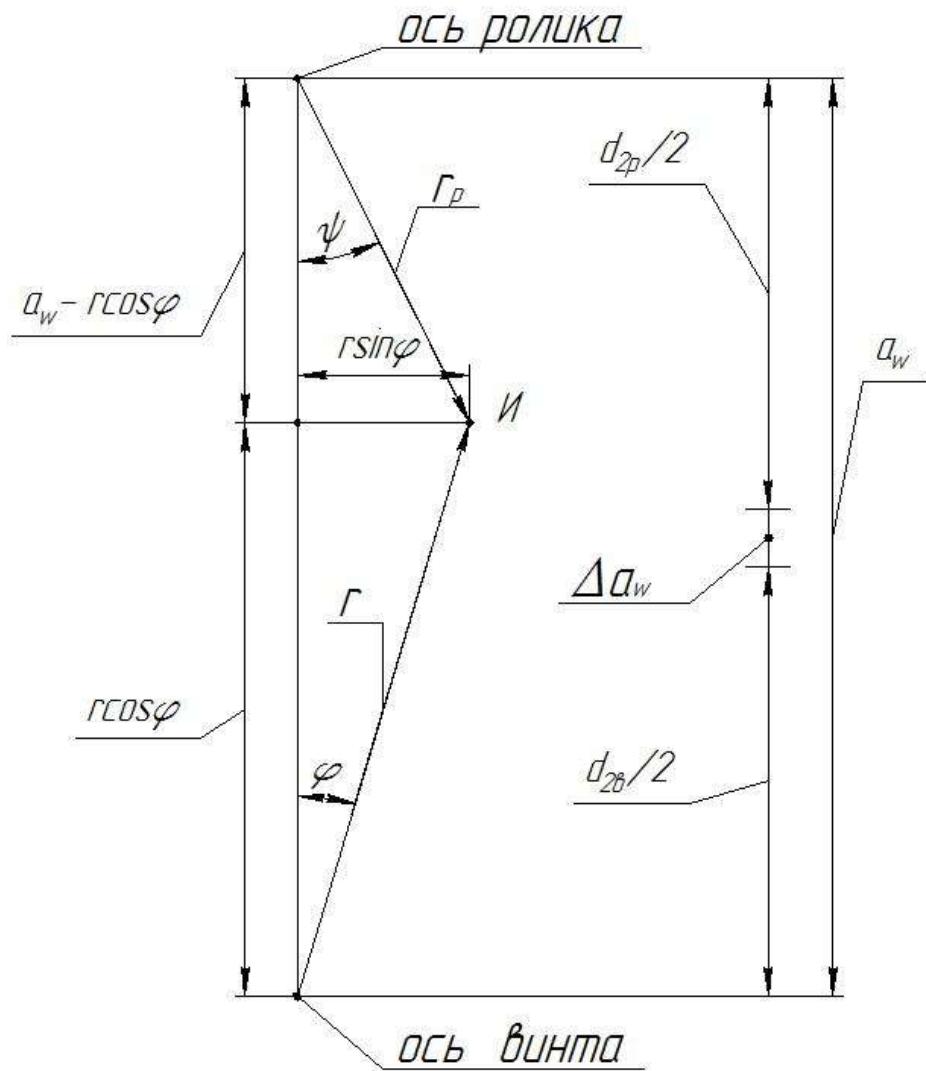


Рис. 8. Координаты точки «И»

Определим осевые координаты произвольных точек «И_В» и «И_Р» резьбовых поверхностей винта и ролика.

Для текущей точки «И» зоны S с координатами r и φ для произвольной итерации (для соответствующего значения Δa_w) необходимо определить расстояния z_{HP} и z_{IB} от средних плоскостей витков соответственно ролика и винта до точек их резьбовых поверхностей И_Р и И_В, см. разрез А – А на рис. 7.

Полученные в осевом сечении (для $\varphi = 0$) профили витков резьбы винта и ролика назовем начальными и запишем их уравнения.

Для витка винта уравнение прямой линии в координатах $y - z$ (рис. 5):

$$z_{BH} = -y / \operatorname{tg}(\alpha / 2) \quad (12)$$

Это уравнение будет неизменным для всего расчета, при котором увеличивается Δa_w .

Для витка ролика уравнение окружности в координатах $y - z$ (рис. 5):

$$(z - R \cdot \cos(\alpha / 2))^2 + [y - (0,5 \cdot d_{2P} - y_P)]^2 = R^2 \quad (13)$$

Сделав преобразования уравнения (13) и его анализ, получим

$$z_{PH} = R \cdot \cos(\alpha / 2) - \sqrt{R^2 - [y - (0,5 \cdot d_{2P} - y_P)]^2} \quad (14)$$

Уравнение (14) зависит от текущего значения межосевого расстояния a_w (от приращения межосевого расстояния Δa_w), см. формулу (4).

При использовании полярной системы координат (рис. 7) необходимо учитывать, что $y = r - d_{2B} / 2$.

Для $\varphi > 0$ ($\psi > 0$, см. рис. 8) начальные профили, оставаясь неизменными (координаты z_{BH} и z_{PH} не меняются), поворачиваются и перемещаются вдоль оси z . Эти осевые перемещения Δz_{BH} и Δz_{PH} надо добавить к координатам z_{BH} и z_{PH} , чтобы получить искомые расстояния z_{HP} и z_{HB} . Указанное осевое перемещение начального профиля витка винта пропорционально углу φ , шагу резьбы винта P и количеству его заходов резьбы z_B . Отсюда $\Delta z_{BH} = (\varphi / 2\pi) \cdot P \cdot z_B$ (15)

Указанное осевое перемещение начального профиля витка ролика пропорционально углу ψ , зависящему от угла φ (см. формулу (11)), шагу резьбы ролика P и количеству его заходов резьбы z_P . Отсюда $\Delta z_{PH} = (\psi / 2\pi) \cdot P \cdot z_P$ (16)

Чтобы получить искомое значение z_{HB} , надо сложить величины, полученные по формулам (12) и (15). Чтобы получить искомое значение z_{HP} , надо сложить величины, полученные по формулам (14) и (16).

Точность полученных результатов

Как отмечалось выше, точность полученных результатов зависит от величины шага S_a , на который увеличивается величина приращения межосевого расстояния Δa_w за каждую итерацию, и расстояний $d\varphi$ и dr (см. рис. 7) между соседними узлами сетки, которую условно нанесли на зону S .

Желательно, чтобы сетка состояла из квадратных элементов, не учитывая кривизну малых дуг, то есть $d\varphi \approx dr$. Рассмотрим часть алгоритма, для которого $d\varphi$ и dr примерно равны 1 мкм или чуть меньшему значению. Пусть все диаметры даны в мм. Для левого участка зоны S определим расстояние между границами этой зоны в мкм, см. рис. 7 и уравнение (5): $\Delta = 1000 \cdot (d_B - d_{2B}) / 2$. Для правого участка зоны S определим расстояние между границами этой зоны в мкм, см. рис. 7 и уравнения (6) и (9):

$$\Delta = 1000 \cdot (0,5 \cdot d_B - r_1(\varphi)).$$

Действительную величину Δ , см. [11], преобразуем в целочисленную величину N , которая будет равна количеству узлов в зоне S вдоль оси r . Рассчитав длину дуги на большем диаметре d_B , определим аналогичным образом количество узлов в зоне S по дуге угловой координаты φ . При таком алгоритме погрешность положения ТНК будет меньше 1 мкм вдоль любой оси.

Величину шага S_a также рекомендуется принять 1 мкм, тогда погрешность при определении Δa_w будет меньше 1 мкм.

Результаты расчетов

Используя математический аппарат приведенного численного метода, разработан алгоритм расчета в общем виде и программа для ЭВМ на языке Delphi [11]. Модули программы были протестированы, а по программе произведен расчет, который повторял расчеты, выполненные ранее, для частного случая [6, 7].

Определялась величина Δa_w и координаты ТНК ПРВМ типоразмера 48×8 со следующими исходными данными: $\alpha = 90^\circ$; $a_{w,HOM} = 32$ мм; $d_{2B} = 48$ мм; $d_{2P} = 16$ мм; $P = 1,6$ мм; $z_B = 5$; $z_P = 1$; $d_B = 48,6$ мм; $d_P = 16,54$ мм; $R = 11,314$ мм (центр окружности радиуса R расположен на оси ролика).

В результате расчетов определено приращение межосевого расстояния $\Delta a_w = 22$ мкм, а положение ТНК можно проиллюстрировать графиками, см. рис. 9 и 10. Минимальный зазор между сопрягаемыми витками составляет около 0,5 мкм, что меньше шага $S_a = 1$ мкм. Это дополнительно подтверждает правильность расчетов. Отсюда реальное значение $\Delta a_w = 21,5$ мкм,

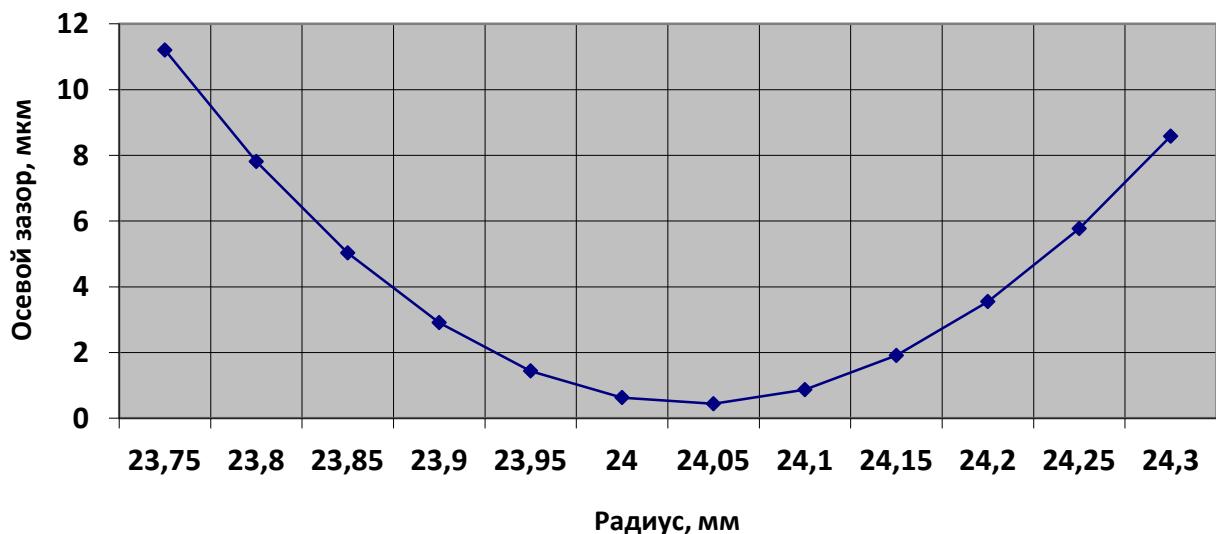


Рис. 9. Осевой зазор между витками винта и ролика вдоль оси r для $\varphi \approx 1,2^\circ$



Рис. 10. Осевой зазор между витками винта и ролика по дуге окружности радиуса $r \approx 24,05$ мм

Полученные результаты совпадают с результатами, приведенными в работах [6, 7].

Результаты расчетов:

- для ПРВМ с винтом и роликом, которые имеют различные углы α профилей витков;
- для ПРВМ, ролик которого имеет различные значения радиуса R окружности, по которой очерчен профиль его витка;
- для ПРВМ, в котором одновременно винт и ролик имеют различные углы α профилей витков и профиль витка ролика выполнен по дуге различного радиуса R ,

а также анализ полученных результатов и рекомендации по проектированию ПРВМ с определением геометрических параметров деталей механизма [2] из-за большого объема информации будут даны в следующей работе.

Заключение

1. Перспективные конструкции ПРВМ имеют целый ряд особенностей, одна из которых заключается в смещении точки начального контакта (ТНК) сопрягаемых витков винта и ролика из осевой плоскости. Причина этого смещения состоит в неравенстве углов подъема резьбы винта и ролика. Отсюда для номинального значения межосевого расстояния виток ролика не размещается во впадине, образованной соседними витками винта. Чтобы собрать ПРВМ номинальное значение межосевого расстояния надо увеличить на величину приращения Δa_w .

2. Для традиционного ПРВМ, угол α профиля витков деталей которого равен 90° , а профиль витка ролика очерчен дугой окружности радиуса R с центром на оси ролика, разработаны различные методы и методики по определению Δa_w и ТНК.
3. Авторы в предыдущей работе [2] предложили конструкцию ПРВМ, обладающую при равных габаритах и массе большей нагрузочной способностью, чем нагрузочная способность традиционной конструкции. В предложенной конструкции угол профиля витков α меньше 90° , и центр окружности, по дуге которой очерчен профиль витка ролика, может не располагаться на оси ролика. Отсюда традиционная конструкция ПРВМ является частным случаем предложенной конструкции.
4. В работе представлен метод расчета и математическое обеспечение для общего случая определения приращения межосевого расстояния Δa_w и ТНК. На основе метода расчета и математического обеспечения разработана программа для ЭВМ, которую можно использовать для определения Δa_w и ТНК традиционной конструкции ПРВМ и предложенной. В качестве теста приведен пример расчета Δa_w и ТНК для традиционной конструкции ПРВМ, результаты которого совпали с результатами, опубликованными в других работах.
5. В следующей работе будут представлены результаты расчета Δa_w и ТНК для предложенной конструкции ПРВМ с различными углами профиля витков α и радиусами R , анализ полученных результатов и рекомендации по проектированию.

Список литературы

1. Блинов Д.С., Морозов М.И. Перспективные конструкции планетарных роликовинтовых механизмов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 3. С. 62-72. DOI: [10.18698/0536-1044-2013-3-62-72](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2013-3-62-72)
2. Блинов Д.С., Зенкина Я.П. Общий случай определения размеров и полей допусков на них для резьбовых деталей планетарных роликовинтовых механизмов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2017. № 4. С. 16-32. DOI: [10.7463/0417.0001123](https://doi.org/10.7463/0417.0001123)
3. Блинов Д.С. Планетарные роликовинтовые механизмы: Конструкции, методы расчетов / Под ред. О.А. Ряховского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 221 с.
4. Блинов Д.С., Анисимов П.Д., Валуев К.А. О влиянии угла профиля витков деталей планетарных роликовинтовых механизмов на их основные параметры // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 6. С. 30-46. DOI: [10.7463/0616.0842257](https://doi.org/10.7463/0616.0842257)
5. Блинов Д.С., Морозов М.И. Прогнозирование ресурса винтовых механизмов качения // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 2. С. 24-41. DOI: [10.7463/0215.0756784](https://doi.org/10.7463/0215.0756784)

6. Блинов Д.С., Ряховский О.А., Соколов П.А. Численный метод определения точки первоначального контакта витков двух винтов с параллельными осями и различными углами подъема резьбы // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 1996. № 3. С. 93-97.
7. Блинов Д.С., Ряховский О.А., Соколов П.А., Лаптев И.А. Определение размеров и полей допусков для основных деталей планетарных роликовинтовых передач // Справочник. Инженерный журнал. 2006. Приложение № 7. С. 1-24.
8. Ряховский О.А., Сорокин Ф.Д., Соколов П.А. Вычисление радиального смещения осей винта и ролика и положения точки контакта резьбы винта и ролика в планетарном ролико-винтовом механизме // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 6. С. 7-14. DOI: [10.18698/0536-1044-2011-6-7-14](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2011-6-7-14)
9. Блинов Д.С., Алешин В.Ф., Лаптев И.А., Фролов А.В., Кулиш А.В. Безгаечные роликовинтовые механизмы // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2010. № 10. 13 с. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/161571.html> (дата обращения 20.08.2017).
10. Леонтьев С.К., Пальченко Н.В., Блинов Д.С. Морозов М.И., Синькинов А.И., Кожевников В.Е. Устройство для преобразования вращательного движения в поступательное: пат. 154625 Российская Федерация. 2015. Бюл. № 24. 2 с.
11. Фаронов В.В. Delphi. Программирование на языке высокого уровня. СПб.: Питер, 2003. 640 с.

General Case in Determining Center-To-Center Spacing Between the Screw and the Roller in a Roller Drive, and Initial Contact Point of Their Mating Thread Turns. Development of Calculation Method and Software

D.S. Blinov^{1,*}, Ya.P. Zenkina¹

*dmitriyblinov@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: roller drive, screw, roller; thread turn; section angle; thread diameter; center-to-center spacing; initial contact point

One of the most important trends in development of machine engineering is to improve load capacity of mechanisms, assemblies and parts without increasing their overall dimensions and weight. This is also relevant to the most promising items so far, i.e. orbital roller drives (ORD), which are the rotational-to-progressive motion converters widely used in vehicles. The previously published article suggested increasing a load capacity (by about 15%) through reducing a thread turn section angle of the threaded ORD components and change of the radius of roller thread turn section outline. Due to such ORD modification, a number of the most critical ORD parameters are to be changed thereby demanding further research. Further, the article published suggests a method considering the abovementioned changes to calculate the dimensions of ORD main components and their tolerance ranges.

Though this method being not complete as the increment of ORD center-to-center spacing in relation to its rated value, required for assembly, is unknown; and to determine the ORD center-to-center spacing increment, outer diameters of the roller and screw threads are to be known. Hence, these two methods are interconnected.

This article presents the numerical calculation method, mathematical support and method to determine the increment of ORD center-to-center spacing and initial contact point of the mating roller and screw thread turns. Due to considerable scope of calculations, the method was turned into the software.

Similar calculation methods and techniques were developed to a particular case, where the thread turn section angle of the threaded components was of 90°, and the roller thread turn section outline was a circular arc centered to the roller axis. Hence the developed numerical calculation method, mathematical support and technique refer to the general case which is to determine the ORD center-to-center spacing increment and initial contact point of the mating roller and screw thread turns. Taking this into account, the calculations for a particular case were performed as test calculations during the software development. The results obtained matched the calculation results for a particular case published in several papers.

Using a developed calculation technique, the calculation method to determine dimensions of ORD main components and their tolerance ranges may be completed for a general case considering the arbitrary turn section angle of threaded ORD components and radius of roller thread turn section outline.

References

1. Blinov D.S., Morozov M.I. Advanced structural designs of planetary roller screws gears. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenij. Mashinostroenie* [Proc. of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2013, no. 3, pp. 62-72. DOI: [10.18698/0536-1044-2013-3-62-72](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2013-3-62-72) (in Russian)
2. Blinov D.S., Zenkina Ia.P. A general case to determine dimensions and their tolerance zones for the thread parts of epicyclic roller-screw mechanisms. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2017, no. 4, pp. 16-32. DOI: [10.7463/0417.0001123](https://doi.org/10.7463/0417.0001123) (in Russian)
3. Blinov D.S. *Planetarnye rolikovintovye mekhanizmy: konstruktsii, metody raschetov* [Planetary roller screw mechanisms: Structures, methods of calculations] / Ed. by O.A.Riakhovskij. Moscow: BMSTU Publ., 2006. 221 p. (in Russian).
4. Blinov D.S., Anisimov P.D., Valuev K.A. On the effect of thread turn profile angle of the planetary roller-screw mechanism parts on their basic parameters. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2016, no. 6, pp. 30-46. DOI: [10.7463/0616.0842257](https://doi.org/10.7463/0616.0842257) (in Russian)
5. Blinov D.S., Morozov M.I. Predicting rolling screw mechanisms service life. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2015, no. 2, pp. 24-41. DOI: [10.7463/0215.0756784](https://doi.org/10.7463/0215.0756784) (in Russian)
6. Blinov D.S., Riakhovskij O.A., Sokolov P.A. A numerical method of determining the point of initial contact of the turns of the two screws with parallel axes and different angles of thread lift. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman MSTU. Mechanical Engineering], 1996, no. 3, pp. 93-97 (in Russian).
7. Blinov D.S., Riakhovskij O.A., Sokolov P.A., Laptev I.A. The sizing and margins of tolerance for the main parts of planetary roller screw gear. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal* [Handbook. An Engineering J.], 2006, suppl. 7, pp. 1-24 (in Russian).
8. Riakhovskij O.A., Sorokin F.D., Sokolov P.A. Calculation of radial displacement of screw and roller axes and position of a control point of the screw and roller thread in a planetary screw roller train. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenij. Mashinostroenie* [Proc. of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2011, no. 6, pp. 7-14. DOI: [10.18698/0536-1044-2011-6-7-14](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2011-6-7-14) (in Russian)
9. Blinov D.S., Aleshin V.F., Laptev I.A., Frolov A.V., Kulish A.V. roller screw mechanisms without nuts. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2010, no. 10. 13 p. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/161571.html> , accessed 20.08.2017 (in Russian).
10. Leont'ev S.K., Pal'chenko N.V., Blinov D.S., Morozov N.I., Sin'kinov A.I., Kozhevnikov V.E. *Ustroystvo dlja preobrazovaniia vrashchatel'nogo dvizhenija v postupatel'noe* [A device for converting rotary motion into linear motion]. Patent RF, no. 154625. 2015.
11. Faronov V.V. *Delphi. Programmirovaniye na iazyke vysokogo urovnia* [Delphi. Programming in high level language]. S.-Petersburg: Piter Publ., 2003. 640 p. (in Russian).